



TITLE:

<総説>木質資源科学の一側面

AUTHOR(S):

山田, 正

CITATION:

山田, 正. <総説>木質資源科学の一側面. 木材研究・資料 1981, 16: 26-48

ISSUE DATE:

1981-12-25

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/51588>

RIGHT:

木 質 資 源 科 学 の 一 側 面*

山 田 正**

Physical Aspects of Science of Woody Resource*

Tadashi YAMADA**

I

資源について考えるとき、それは、物的資源と文化的資源との二面をもつことに気付く。物的資源とは、人が基本的生活を営むための原料（例えば、建築材料）や、文化活動を行うための素材（例えば、彫刻、楽器用材、印刷用紙）を指し、文化的資源とは、加工技術や材質開発技術などと、それをめぐる社会の態勢を指す。

セルロース、ヘミセルロース、リグニン、抽出物及びそれらの誘導体などの原料、これらの原料あるいは他の物質との複合による素材の形成、加工及び生産された製品に関する資源を木質資源と称するとき、木材は諸原料から複合形成された一種の材料乃至は製品として位置づけられ、

(1) 樹木 → 木材 → 木質製品
(形成)

は木質資源の主要なものであって、森林資源に含まれ、産業面では林業、林産業にかかわるが、このほかに

(2) 未利用木材及び非木材原料 → 木性材料 → 木質製品
(化学修飾、複合加工)

という森林資源に含まれないものも具体化されつつあり、(1)、(2)を包括して木質資源とよぶのが適当であろう。一方、近年の木材科学におけるアトミズム追求の成果は、資源問題と相俟って木質資源科学へ進展してゆく。その応用を考えると、基材の開発や機械化などハードな技術が根幹をなす一面、生産された製品の機能の評価には人間生物学的な価値観が反映されるであろう。本稿では木材物性において要素に還元する研究例(Ⅱ)、資源問題の一面として建材間の競合状態など(Ⅲ)、及び木質製品の具えるべき機能を考察するため、木材製品の特異な一、二の性質(Ⅳ、Ⅴ)を一瞥する。

II

科学は純粋に知的な営みの一面をもつ。例えば、われわれは、木材の示す種々の性質——与えられた物理的・化学的な刺激と得られた応答に関する現象を記述すると共に、どうしてそのような現象が発現してくるのであるかという疑問を抱く。そして、木材を構成している分子や原子の性質から、その総和として、木材の性質を求めたり、分子や原子の組立てを探り、その複合構造に基づいて、時には複合化に伴う非線型性を考慮しつつ、木材の物性値を定量化しようとする。木材科学におけるいわばアトミズムの追求である。さらには木材の形成過程にさかのぼってこのような材質発現の情報を求めようとする。これには、近年、電顕や

* 大要は第35回木研公開講演会（昭和55年5月13日、大阪）において講演

** 木材物理部門（Research Section of Wood Physics）

分光学的研究の発展に基づく微細構造の研究成果があづかって大いに力がある。R. E. Mark の細胞壁力学に関する仕事『Cell Wall Mechanics of Tracheids』(1967) は、限られた現象に関するものではあるが、その成果の一例であろう。その後、この方面については細胞壁や単繊維の三次元解析や重複細胞壁の解析などが相次いで報告されてきた。さらに、巨視的構造をも考慮に入れて各方向の弾性挙動の解析が進められており、大釜らは次のように整理し解析した。すなわち、木材の解剖学的特徴を複合構造の立場より5種の解析領域に分類し、それぞれの領域にみられる特徴を次に示す複合型に基づいてモデル化し、そのモデルに特有の解析パラメーターを数量化して木材の材料特性値を算出し、実測値と比較している。

解 析 事 項	複 合 型	解 析 パ ラ メ ー タ ー	解 析 法
1) 骨格およびマトリックスの材料特性	基本要素	セルロース } 骨 格 ヘミセルロース } リグニン } マトリックス	分子構造に基づく理論計算
2) 骨格とマトリックスの複合体の主軸方向における材料特性	繊維構造	細胞壁層内における骨格、マトリックス成分の体積割合、分布および結合状態、骨格の形状	◦ 混 合 則 ◦ 積層体の弾性論
3) 細胞壁の材料特性	積層構造 網目構造	細胞の種類、フィブリル傾角、体積割合	◦ 混 合 則 ◦ 有限要素法 (L方向については実測可能)
4) 細胞群の材料特性	多孔(分散)構造	早・晩材別 放射組織	◦ 有限要素法 (+モンテ・カルロ法) (実測可能)
5) 木材の材料特性	積層構造	針葉樹材, 広葉樹材, (巨視的多孔積層構造の分類)	◦ 混 合 則 ◦ 積層体の弾性論 (実測可能)

これを「木材物性における複合理論の研究」(1979)など³⁾にもとづいて簡単に紹介する。

領域1)では、基本要素として木材構成主要成分のセルロース、ヘミセルロース及びリグニンの3成分を考える。しかし、細胞壁力学に関するこれまでの諸研究では、骨格(セルロースとヘミセルロースの一部)及びマトリックス(リグニンと残りのヘミセルロース)から成る2相系として取り扱われている。

骨格の弾性定数は各種の化学結合の伸縮変角を考えて算出されたセルロースの値を用いて、いくつかの研究がなされている。一方、桜田らは実測してヤング率の値 $1.37 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ を求めているが、Mark や Jaswon, Gillis and Mark (以後 JGM と略す)により三次元の理論計算がなされるまでは、研究は鎖状分子方向に限定された。なお JGM や Mark の解析は Meyer and Misch のセルロース単位胞モデルに基づいてなされ、Mark は横方向を等方性と、また、JGM は近似的に直交異方性と仮定して、弾性定数を求めている。横方向弾性率 $27.7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、剛性率 $4.49 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 0.1 という値がよく用いられる。

マトリックスは、等質等方性体とみなされ、Srinivasan が単離リグニンを用いて得た実測データに基礎を置く値(ヤング率 $2.04 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ (Mark))が広く用いられている。しかし、最近、リグニンについては、Cousins, Armstrong and Robinson, Cousins, ヘミセルロースについては、Cousins が主として鋼球圧入法を用いてヤング率を含水率により、あるいは単離法により、それぞれ $2 \sim 7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、1～

表 1³⁾

	ヤング率 ($\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$)			せん断弾性率 ($\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$)			ポアソン比		
	E_x	E_y	E_z	G_{xy}	G_{yz}	G_{zx}	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{zx}
混合則									
M+P	15.7	2.25	2.25	0.856	0.953	0.856	0.280	0.180	0.04
S1~S3	73.7	4.01	4.01	1.04	1.70	1.04	0.190	0.180	0.01
積層体の弾性論 (Tangら)									
M+P	15.6	3.01	2.80	0.943	0.867	0.903	0.258	0.346	0.0496
S1~S3	73.8	7.86	6.13	1.89	1.57	1.60	0.148	0.183	0.0153

x : 軸方向, y : 半径方向, z : 切線方向

$8 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ の間に 変化するヤング率の 値を求めている。常温 では、このような 値を示すマトリックス も、高含水率下で温度が高くなると軟化し、ヘミセルロースで 50°C 、リグニンでは 80°C 近くまで転移域が低下することもある。このようなマトリックスの性質は木材の塑性加工や固有応力解析に重要な意義をもつものである。

領域2) は、細胞壁層の解析である。細胞壁は M+P, S1, S2, S3 の4層で構成されているとする。壁層を構成する骨格の横断面の形状やその存在状態、骨格—マトリックス界面の状態等について研究されてい

表 2²⁾

		早 材 (S)	早 材 (D)	晩 材 (S)	晩 材 (D)
M+P	$\langle \sigma_{II} \rangle$	-0.24	-1.20	0.34	-0.26
	$\langle \sigma_{\perp} \rangle$	0.66	0.48	0.12	0.07
	$\langle \tau \rangle$	-0.13	0.00	-0.11	0.00
S1 (80)	$\langle \sigma_{II} \rangle$	-1.03	-0.89	-0.55	-0.21
	$\langle \sigma_{\perp} \rangle$	0.70	0.47	0.16	0.07
	$\langle \tau \rangle$	-0.04	0.07	-0.09	0.01
S1 (-80)	$\langle \sigma_{II} \rangle$	1.30	-0.89	1.34	-0.21
	$\langle \sigma_{\perp} \rangle$	0.59	0.47	0.08	0.07
	$\langle \tau \rangle$	-0.20	-0.07	-0.11	-0.01
S2	$\langle \sigma_{II} \rangle$	3.70	4.88	1.23	1.27
	$\langle \sigma_{\perp} \rangle$	0.48	0.21	0.09	0.00
	$\langle \tau \rangle$	0.26	0.20	0.11	0.01
S3	$\langle \sigma_{II} \rangle$	-0.97	0.01	-1.22	-0.07
	$\langle \sigma_{\perp} \rangle$	0.69	0.43	0.19	0.06
	$\langle \tau \rangle$	0.05	0.13	-0.06	0.02

(S) : 単繊維の場合, (D) : 剪断を拘束した場合

細胞軸方向に単位応力で引張したときに、各壁層のフィラメント方向に生ずる垂直応力 σ_{II} 、直角方向応力 σ_{\perp} 及び剪断応力 τ を示す。

るが、いまだ、統一見解がなく、既往の諸研究では、主に骨格とマトリックスの2成分からなる複合体として単なる直列ならびに並列モデルにより、弾性定数が算出されている。他方、Gillis, Tang 等は骨格の横断面の形状を、長方形の長辺が細胞壁層面に平行で、かつ、一様に分布していると仮定した細胞壁層モデルを提案し、これに骨格—マトリックス間の力学的相互作用を考慮した積層体の弾性論を適用して弾性定数を求めている。壁層における骨格とマトリックスの体積割合により弾性定数は異なってくる。マトリックスがM+Pでは89.9%, S1~S3では45.9%とすると、弾性率の値は表1のようになる。また、放射組織についても類似の計算を進める。

領域3)の解析は、細胞長軸方向については実測が可能で、しかも細胞の形状変化の効果を考慮する必要がなく、壁をひとつの板として近似的に解析できるため、木材の3主軸方向のうち、この方向の研究が中心に進められ、例えば、表2にみるような壁内各部位における応力比分布が報告されている。一方、走査型電顕を用いた細胞単体の破壊に至るまでの力学挙動が観察される等、数多くの研究が手がけられている。横方向については、細胞壁を等方性材料からなる円筒で置き換えた Price の解析があるが、実測は不可能に近い。図1のようなくり返し単位モデルを設定して有限要素法により解析する。

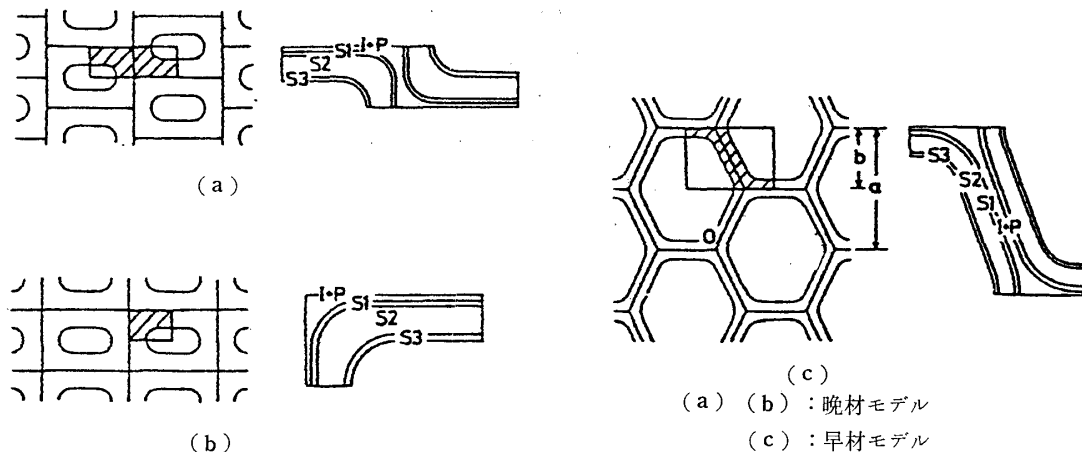
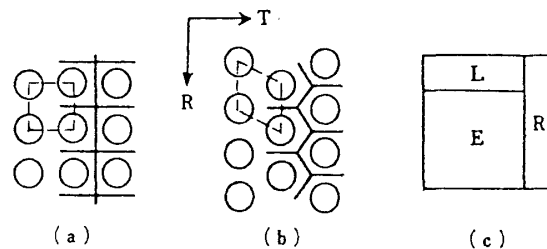


図 1



(a) : 晩材空孔配列のモデル化
(b) : 早材空孔配列のモデル化
(c) : 針葉樹材木口のモデル化

図 2³⁾

領域4)の細胞群の弾性定数については、例えば、Boutelje が早材及び晩材のみからなるセグメントを60~100枚積層したブロックで実測しているように、木材の3主軸方向とも実測可能である。しかしながら、早材・晩材を単離する操作は困難で、今までのところ、この種の研究は非常に少ない。そこで、これにかわる実験として、木材を多孔体と考えた研究、即ち、細胞壁内の微細構造を無視し、細胞の形状寸度の弾性へ

の寄与のみに着目した研究が Boutelje, 金谷等によって行われている。彼らは弾性的に等質等方性である材料を用い、針葉樹材横断面形態をそのまま形どったモデルについて、形状変化の寄与を光弾性実験法により解析を試みている。このようなモデルは特定の樹種の限られた部位についてのみ検討できるにすぎず、広葉樹材、針葉樹材を含めて普遍化するには適当でない。他方、理論的には細胞の変形要素に着目してそれをTあるいはY字状モデルに置き換え、その幾何学的パラメーターを考慮したモデル単体の材料力学的な解析がなされているが、その寄与は算術平均されているだけである。大釜らは変形要素の配列、分布状態の影響については穴あけ板の実測値や図2のモデルの組合せを有限要素法により解析し、検討している。

領域5)の多孔積層体としての木材は、実用に供せられている材を意味するが、木材の巨視的な積層構造に着目した弾性解析は、Ylinen, Schniewind によりなされている。前者は放射組織の少ない針葉樹材について、木材を早材と晩材のみからなる積層体と考えて解析がなされ、放射組織の寄与が無視されている。また、後者は広放射組織を有する広葉樹材について、早・晩材の他に放射組織を含めて解析しているが、早・晩材部における細胞配列の寄与を無視し、しかも、半径方向における放射組織の連続性が欠けている等、実測値との対応は不十分である。Stupnicki も4)の領域を含めて同様の解析を行っているが、中間層が外力に抗しうる要素でP~S3の各細胞壁層を充填材料としている点疑問が残る。これらの点を考えると、巨視的積層構造の評価には、樹種特性を考慮した早材、晩材、放射組織、導管などの組合せに基づき、混合則を適用して弾性定数を算出するのが妥当で、大釜らのそのような計算結果は健全材についてヤング率の対数が比重の対数と共に直線的に増加する実験結果と数値的にもよく一致する。もし、マトリックスやフィラメントの状態がかわれば、例えば、アテ材にみるように、縦ヤング率が比重と共に低くなる傾向が算出されるであろう。なお、マトリックスのヤング率が時間、温度や水分に依存することを考慮するときには、フィラメントとの間の相互作用や細胞の立体的な形態をもあわせて考えなければならない。この外に上記と類似の手法を用い、則元らは成分の物性値と構造のパラメーターのみを用いて健全材の誘電率を算出し、実測値とよく一致することを見出している。その外、拡散係数や熱伝導率に関しても複合則の適用が検討されているが、木材物性におけるこの方向の研究の完成はまだ程遠い現状である。しかし、これらの知識が背後にあって、例えば、マイクロ波による木材の塑性加工などの原理が理解され、技術化が進展する。一方、このような要素に還元する研究は、木材の構造と物性との関連を定量的に明らかにし、ひいては他の物質を原料とし、複合加工により木材の性質をもった材料—木性材料を創造する道を開くことにもなる。

III

物的な木質資源に着目するとき、それが需給均衡を続けるためには循環均衡が前提となる。採取と再生における速度の均衡である。わが国のみに限定するとこの均衡は著しく破れていて昔日の面影はない。木材は海上から採り、建材は代替品を用いることによって、需要の大半が充たされている。用材消費量約1.1億 m³の自給率は30.8%、うち合板用材 1400万 m³の自給率はわずかに4.3%である。また、木材消費の2/3を占める建材の分野についてみても木材から他製品への代替は著しい。建具には金属サッシが多用され、鋼製の梁、スチールトラスなどの構造部材、メタルラス、プラスチックシート、GRC、ルーフィングなどの下地材、クロスや石こう系の内装材、プラスチックの造作材、その他諸種の製品が開発され、木質系のものと競合している。このような競合の実態を日本経営システムの調査結果によってみると、表3のようである⁴⁾。同表は構造材を除いた建材について昭和51年度の出荷実績を住宅用と非住宅用の屋根、外壁、内壁、天井、床の五部位の各々について、仕上げと下地の合計10部位に分けて、約40種類の建材についてなされた用途分析の結果から木質に関連したものを抜萃したものである。単位は施工面積(千 m²)及びその割合(%)である。

総計約28.4億 m²の建材出荷量の中で、木質系は約10億 m²を占め、非住宅に用いられるものは住宅の1

表3⁴⁾ (日経システム, 抜萃)

住 宅 用

(51年 千m² %)

No 部 位		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		
建 材 名		出荷面積		屋 根 材		2 屋 根 材 下 地 材		外 装 材		4 外 装 材 下 地 材		内 装 材		6 内 装 材 下 地 材		天 井 材		8 天 井 材 下 地 材		床 材		
木質系小計		910,296				164,386		19,157	7.2	160,156		228,875	42.7	84,360		90,009	64.6	26,542		62,242	39.9	74,569
金属系小計		119,402		46,639	25.4			57,360	21.6			15,339	2.9			64	0.0					
窯業系小計		370,152		120,316	65.4	3,404		14,030	5.3	20,698		38,821	7.2	123,153		19,805	14.2	17,532		8,425	5.4	3,968
その他小計		730,437		16,975	9.2	3,655		174,464	65.9	76,944		253,270	47.2	45,593		29,669	21.2	3,166		85,384	54.7	41,317
総 計		2,130,287		183,930	100.0	171,445		265,011	100.0	257,798		536,305	100.0	253,106		139,547	100.0	47,240		156,051	100.0	119,854
需要量推定				147,831				241,488				367,885				134,787				135,212		

木 材 板	353,356			117,000	2,500		150,000	4,531		43,000	5,865		9,075	1,385		20,000
普通合板	187,724			43,167	1,003		3,212	15,861		41,360	9,437	6.8	17,467	10,641	6.8	45,576
特殊合板	256,891				8,400			200,400	37.4		48,091	34.5				
複合フローリング	48,730													48,730	31.2	
フローリング	218													218		
ハードボード	11,606				7,254			3,606						363		363
セミハードボード	14,010							1,560			12,450	8.9				
パーティクルボード	12,068			2,414				1,508						905		7,241
インシュレーションボード	25,693			1,805			6,944	1,389			14,166	10.2				1,389

その他

木片セメント板(含硬質)	2,580			240	720		1,260	108								252
木毛セメント板	3,488			1,046			349			349						1,744
パルプセメント板	17,522						2,336	2,336		4,673	2,336		5,841			
石こうボード	37,950						10,000			20,510			7,440			
化粧石こうボード	22,112							11,056			11,056	7.9				
石こうボード吸音板	34									34						
石こうラスボード	86,709									86,709						
繊維壁	147,811							147,811	27.6							
畳	54,043													54,043	34.6	

山田：木質資源科学の側面

表3 (日経システム, 抜萃)

非住宅用

(51年 千m² %)

No	部 位	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		建 材 名	出荷面積	屋 根 材	下 地 材	外 装 材	下 地 材	内 装 材	下 地 材	天 井 材	下 地 材	床 材	下 地 材	床 材	下 地 材	床 材	下 地 材	床 材	下 地 材	床 材	下 地 材
		木質系小計	90,416			10,402	680	0.6	10,402	30,582	21.2	10,228	7,579	11.5	1,102	13,677	11.4	5,764			
		金属系小計	76,922	24,207	32.9		39,443	36.2		10,385	7.2		2,887	4.4							
		窯業系小計	248,964	29,291	39.8	8,694	29,361	27.0	26,283	31,468	21.9	56,148	31,243	47.6	10,113	23,434	19.6	2,929			
		その他小計	289,899	20,045	27.3	7,908	39,455	36.2	12,032	71,574	49.7	7,163	23,950	36.5	907	82,440	69.0	24,425			
		総 計	706,201	73,543	100.0	27,004	108,939	100.0	48,717	144,009	100.0	73,539	65,659	100.0	12,122	119,551	100.0	33,118			
		需要量推定		52,764			96,953			133,229			62,153			79,602					

木 材 板	25,810			10,000	200		10,000	350		3,000	450		700	110		1,000				
普通合板	13,051			402			402	2,007		7,228	201		402	602		1,807				
特殊合板	31,200				480			26,640	18.5		3,840	5.8		240						
複合フローリング	1,507													1,507						
フローリング	10,674													10,674	8.9					
ハードボード	484													242		242				
セミハードボード	2,590							1,030			1,560									
パーティクルボード	3,017													302		2,715				
インシュレーションボード	2,083							555			1,528									

その他

木片セメント板(含硬質)	1,620			720	180		180	180		120										240
木毛セメント板	13,952			6,104			4,709			2,441										698
パルプセメント板	5,841							935		2,336	467		2,103							
石こうボード	37,949							2,200		28,160	800		6,789							
化粧石こうボード	14,741							2,948			11,793	18.0								
石こうボード吸音板	1,654										1,654									
石こうラスボード	4,564									4,564										
繊維壁	7,780							4,668			3,112									
畳	2,844															2,844				

割である。これに木材廃材を原料として生産される木材セメント板、石こうボード類及び繊維壁を加えると14.7億 m^2 となり、総建材出荷量の半ばにあたる。

下地材の総出荷量10.4億 m^2 の中木質系は5.5億 m^2 、廃材製品を含めると、およそ6.5億 m^2 、木質系下地材の非住宅用は住宅用の23%である。仕上げ材総出荷量18億 m^2 のうち木質系は4.5億 m^2 、廃材製品を含めて6.6億 m^2 を占める。非住宅用は住宅用の16%となる。廃材製品を含めた木質系建材の出荷量は、下地材と仕上げ材とではほぼ同面積となり、また、非住宅での木質系建材の利用率は、住宅に比し、著しく小さいことがわかる。さらに仕上げ材の各部位における、木質系のシェアを、昭和51年度の調査値と昭和60年度予測値とを比較すると、次のように報告されている。

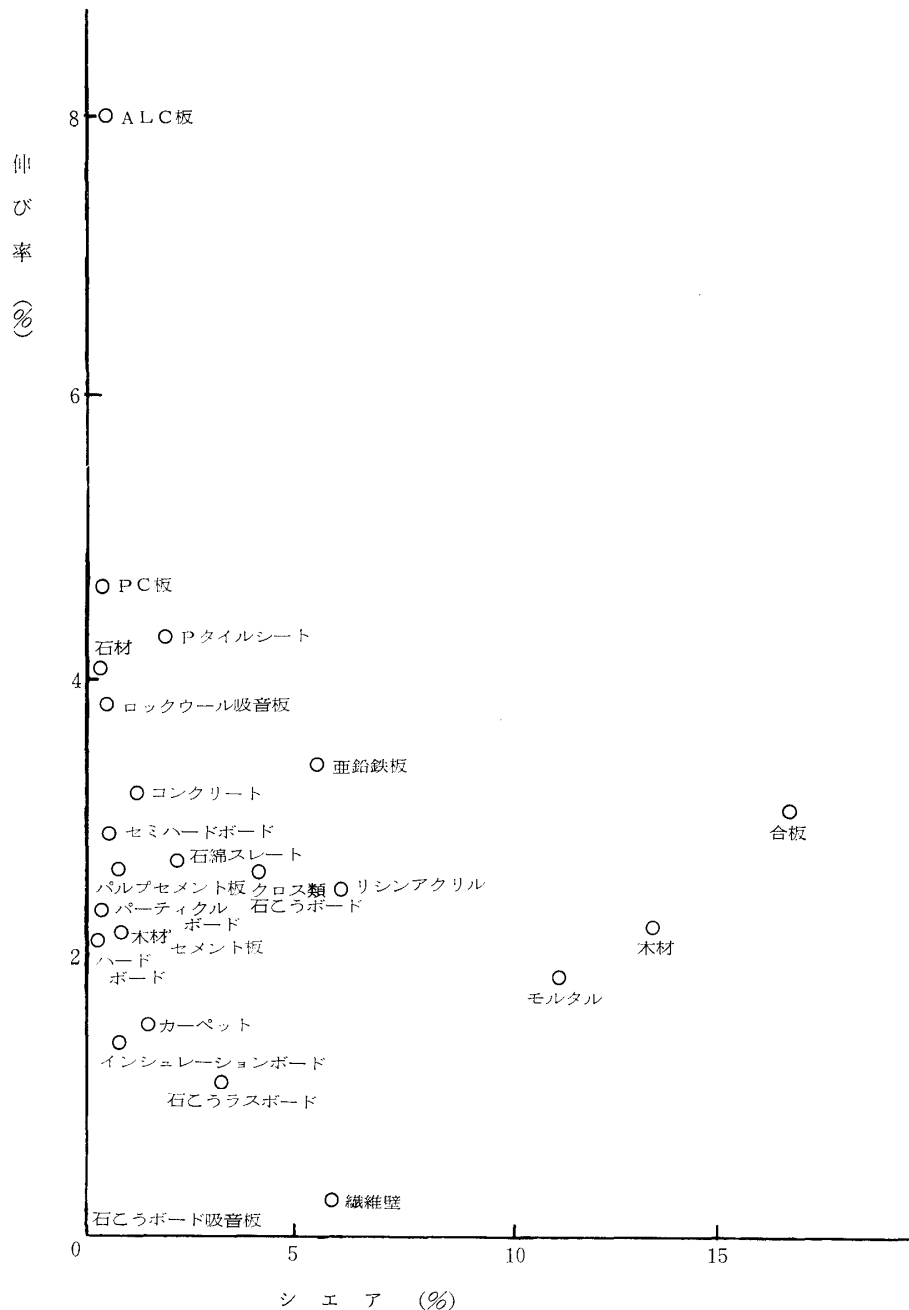


図 3⁴⁾

	51年	60年
住宅外壁	7%	7%
内壁	43%	44%
天井	65%	65%
床	40%	41%
非住宅		
内壁	21%	22%
天井	12%	12%
床	11%	11%

各建材のシェアと伸び率との関係は図3のようになる。しかし、予測の基礎となる諸経済指標の中のひとつ、住宅着工量についてみても、図4のような予測値とのあいだにずれが生じていることは注意する必要がある。

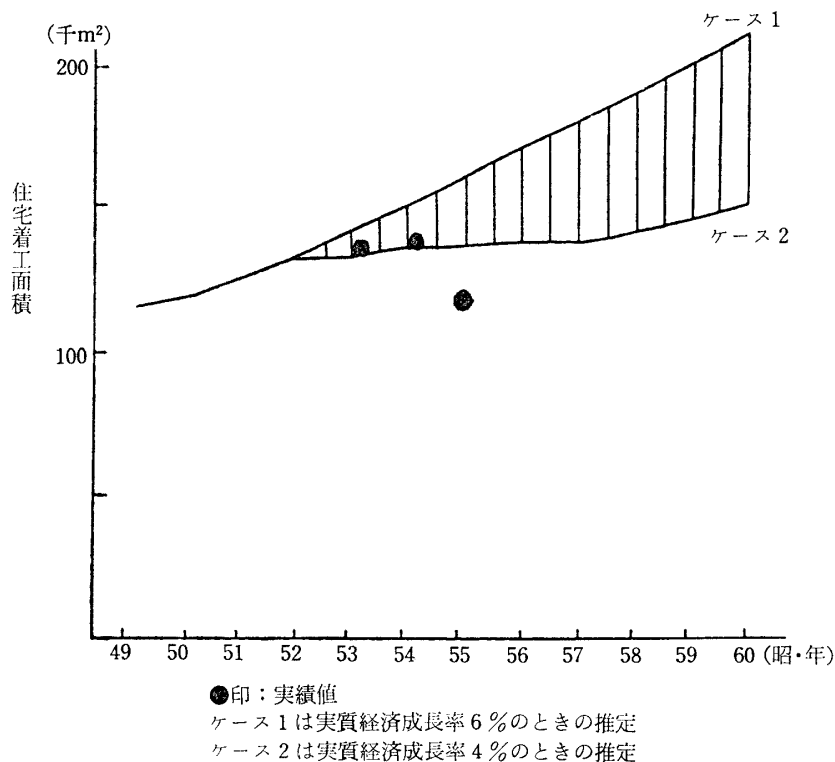


図 4⁴⁾

個々の建材についてみると、いまだシェアは小さいが、伸び率の大きい ALC (Autoclaved Lightweight Concrete) 板は PC (Precast Concrete) 板と同様に施工が簡単な乾式工法に用いられシステム化に適しているということのほかに、軽量で、耐火性、断熱性、遮音性にすぐれていて、下地材として使用される。そのほか、合板の伸び率よりも大きい値を示すものとしては、無機材料ではロックウール吸音板、石材、プラスチックでは、プラスチックタイルシート、金属系では亜鉛鉄板、アルミステンレスなどがあげられ、特性としては耐火性が目立つ。

一方、グローバルな観点からも資源有限がさげばれて久しい。対策の1つとして資源調査会では、古く昭和44年にわが国における廃材利用について、次のようにとりまとめ、報告している。

山田：木質資源科学の一側面

1. パーティクルボードの生産	14万 m ³
2. 成形物の生産	—
3. 石こうボードの生産	6,600トン
4. セメント製品の生産	ドリゾール 12,000トン
	センチュリーボード 8,600トン
	のこ屑ブロック —
5. 繊維壁材の生産	12,000トン
6. 小物生産	240万 m ³
7. 木質粉の生産	75,000トン
8. 燃料としての利用	550万 m ³
9. 炭化	60万トン
10. オガライト, オガタンの生産	100万 m ³
11. ガス化	—
12. 木材チップの生産	520万 m ³
13. のこ屑パルプの生産	少量
14. ファイバーボードの生産	15万 m ³
15. 木酢液の生産	1,500トン
16. 加水分解	—
17. 樹皮成分の利用	少量
18. 堆肥及び土壌改良剤の生産	50,000トン以上
19. 敷料としての利用	—
20. 飼料としての利用	—
21. 食用きのこ等微生物培養への利用	
種菌	150万トン
培地	11万 m ³

燃材生産量は、昭和54年度94万m³となっている。開発途上国では生産材の70%以上（国によっては90%）を燃材が占めている。先年のオイルショック以後化石資源の代替に再生産可能な木質資源の利用が論じられてきている。しかし、木材は、後に述べるように他材料ではもとめることのできないいくつかの特性をもつので、木材をエネルギー源に用いることは望ましいことではない。むしろ、廃材のほかに世界的に年間10億トンの供給が見込まれる農業残渣及び同じく2億トンが見込まれる都市廃棄物など、廃棄バイオマスの利用をかねて、これらの分散型資源による木性材料の開発が具体化され、或は地域林業、林産業の発展に結びつくことが期待される。

IV

上述のように、科学はまた、人々の欲求を満たすための技術に転化する一面をもつ。本来、人間は、安全と快適性を求め、常に構築の基本原理を理解し、構造的感覚を賦与されているといわれている。近年、世界的に評価されてきている木造建築に関する技術の歴史をふりかえる時、木造の古社寺建築は美と用をかねたひとつの技術的な極をなすものであろう。一世紀ごろ、すでに中国には高層の楼閣が築かれていたといわれるが現存するものはなく、むしろ、仏教と共に中国から伝来した技術による古建築がわが国に多く残っている。建立されて1300年を越える法隆寺は、木造で最古の建築である。

一般に、建物においても、製品においても、最も重要な性質は、いうまでもなく、その形体や特性が必要

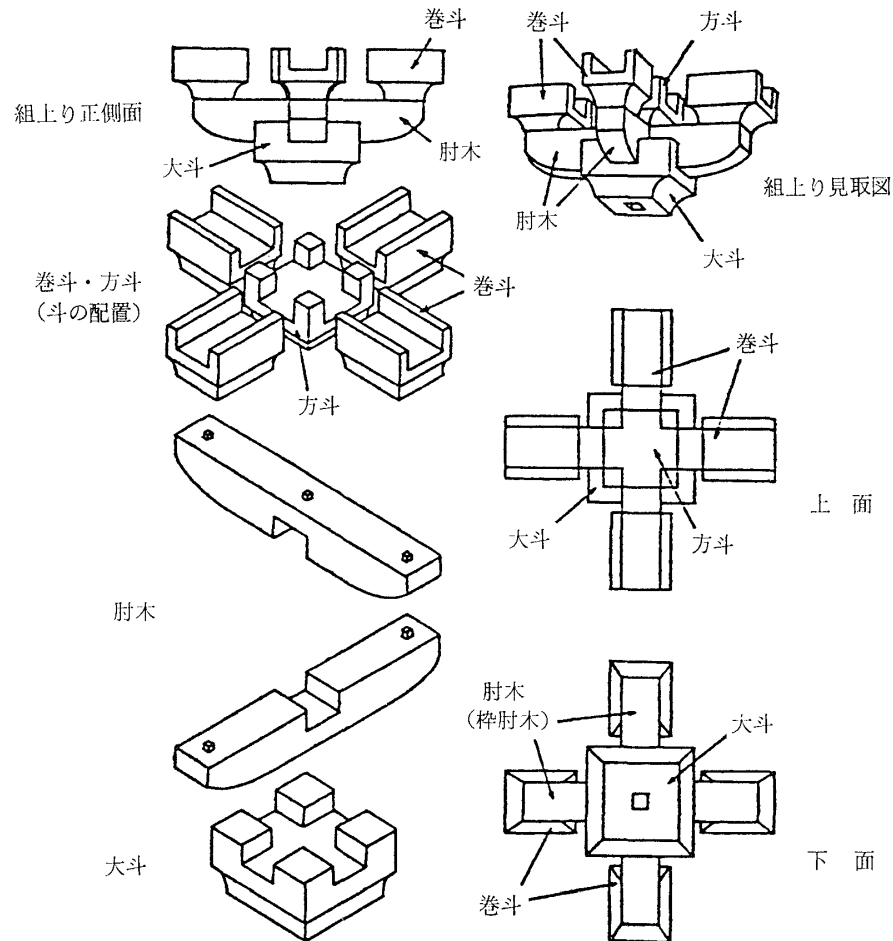


図 5 5)

な期間にわたり、一定に保持されるか、あるいはより向上することである。力学的には、弾性率やクリープの問題であり、固有応力の問題である。

古建築部材の長期にわたる変形を観察しよう。古社寺が優美な姿を保つには、例えば、深く挺出した軒とそれを支える構造物の寄与が大きい。重い瓦ぶきの深い軒を支えるには、中国において漢代にすでに現われ、その後発達した料枳（組物）が、わが国に、仏教と共に伝来し用いられてきた。これは図のようにいくつかの部品からなり、それらが組合わされて柱の上で桁などを受け、小屋組をのせる接合材であって、縦横に組む組み方は木材の異方性を巧に用いている。このような軟構造によって法隆寺は幾星霜にわたり、台風や地震に耐えて独特の雲斗雲肘木をもつ飛鳥様式を伝えているが、奈良時代に入ると和洋料枳が発達し、例えば、平等院鳳凰堂中堂にみられるような三手先の料枳が、優美な建築美を支えている。さらに、鎌倉時代には、従来の料枳のように柱上の大斗から組物を重ね上げ太柄で固定する方法がとられないで、柱にあげられた穴に肘木が幾段にもさし込まれる大仏様料枳が南中国から伝わり用いられるようになった。室町期の東福寺三門もその一例で、大仏様三手先となっている。東福寺三門修理工事報告書（昭和53年）によると、その負荷は、例えば隅柱についてみると、直径 90.3 cm の隅柱の脚部での軸力は90トンに達するため、高さ約 15 cm の各穴の基部は、最下段を除いていずれも剪断破壊を生じている。因みに建築基準法によるひのきの許容応力度は 7 kg/cm^2 、強度は 21 kg/cm^2 であることから考えれば、たとえ当初、楔留めされていても、加圧収縮により隙間ができれば、この破壊は当然のことといえよう。また、側部もねじりなどの作用を受け、剥落している。料枳の解体時の実測寸法は、鑿跡から推定された初期の寸法より、多いものでは、ひ

ずみにして6%近く縮んでいる。隅柱一段肘木は巾約23cmであり、曲げと剪断を受ける極端な部位では17%をこえる部分圧縮を受けている（ひのきの長期荷重に対するめりこみの許容応力度は 25 kg/cm^2 と定められている）。このような負荷状態のもとで、梁は低下し、垂木は下方に湾曲して永久ひずみを生じつつも、長期にわたり整った形を与えてきている。一方、法隆寺では、構架材のひのきが屋根の重みで曲がって垂れ下がっていたのが、昭和の大修理で瓦や屋根をおろしたところ、垂木は二、三日のうちに曲がりかどって復元した⁵⁾という。これは曲げクリープの回復現象である。これを東福寺の三門と比較するとき、諸種の事情が考えられるが、しかし、室町期の技術とそれより数百年前の飛鳥期の技術との差異の一面をうかがわせる。何れにせよ、苛酷な条件下の耐久性における上述の木材複合構造の特長を示す例であろう。木材のクリープは、このような建築部材のほかに、木材の利用加工過程でもよく現われる現象であって、その線型、非線型性や水分、溶液、温度、鉄さびなどの影響について研究が多い。今後の研究としては、非線型非定常クリープの現象理論と木材の構造に基づく複合理論、damage accumulation law などによるクリープ破壊に関する研究の発展が期待される。

料枳にみられる木材の技術の千数百年の歴史に比し、クリープにみられる木材の科学は半世紀あまりの歴史をもつに過ぎないが、その歴史を辿るための参考として、「木材力学資料」を整理したクリープに関する文献を文末に別記する。

V

一般に、製品の性質は審美性（感覚的性能）、機能性、保存性の三要因により評価しうる。美的性質に重点をおいたときは木工芸術品であり、純粹に人間生存のみのために必要な機能性に徹するものは木材工業製品としての木質諸材料などである。その中間に美と用とをかねた木質工芸品があり、多くは中小企業における手作業により生産され、通産省指定の伝統工芸品などもこれにあたる。建材についてみると、古代から近世までわが国の建築は木造に終始してきたが明治にはいり、東西の文化交流がすすみ、欧米風の建築が増えた。これらの建物の内装についてその中の特殊な例をみると、国をあげての事業として昭和11年に竣工した国会議事堂は、主体は鉄骨鉄筋コンクリートによる近代建築であるが、造作材には、すぎ、ひのき、台湾桧、けやき、なら、とち、あららぎ、しおじ、かつら、きはだ、ぶな、くるみ、たも、チーク、寄木材には、けやき、こくたん、台桧、マホガニー、くるみ、チーク、なら、けんぼなし、くわ、かえで、黒柿、構造材には、ひのき、すぎ、まつ、米松、台松、米桧など、24種1万7300石におよぶ木材が用いられ、仕上げには小工芸品に用いられてきた木目の見える透明な漆やニス仕上げなどを大建築に応用していて、欧米の大建築にはみられない木材への愛着があらわれている。なお、全国各地から技能者が参加して作成された木彫りレリーフ類は視覚環境とともに場内によい音響環境をもたらし江上は指摘している⁷⁾。また、近くは新宮殿にも床や造作材などに、すぎ、あかまつ、つが、ひのき、けやきなど多量に用いられている。さらに500万 m^3 の消費が推測される家具生産や推定30万 m^3 あまりを消費する付加価値の高い楽器製造など、他の産業における木材工芸技術も重視する必要がある。

現在、木材工業の主体は建材及びパルプ、紙製造であるが、より安価な材のより大量の生産をめざして木材資源利用の量的拡大を指向してきた従来の木材工業は、今後、質的拡大へと重点を移すべきであり、建材についてみると、それには既に多くの研究が重ねられてきている粘弾性、強度、吸遮音性、断熱性、耐久性、施工性などの基本的な性能の外に特に仕上材では人間—製品系における生理的、心理的特性や情報制御特性などに関する研究、すなわち製品機能の研究を推進する必要がある。

住環境において生理的条件の要求を満足するには健康な室内気候、空気環境、視覚環境、聴覚環境の確保を要する。室内気候は温度、湿度、気流、ふく射、空気などの要因により定まる。熱環境の評価については、人工気候室を用いた生理的実験や、現場調査の統計処理に基づくもの、あるいは熱機関としての人間が

常に一定の体温を保つための熱収支の理論的解析などの研究がなされていて、リズムをもつ至適温度域が提示されている。しかし、人の生理には平均室温の外に、温度分布が影響する。鈴村によると人の生体調節には特に、床及び壁面の近接部における温度の低下と、外界気温との不調和が影響し、床に接して裸足を置いた被験者の眼微動調節周波数分布は木質材料床ではビニールタイル床の場合より高周波成分が多く、調節機能が良好な状況にあることを明らかにしている⁸⁾。又人の温感は、必ずしも室内温度のみによるものではなく、壁や、室内物体のふく射熱の寄与も大きい。榎屋によると、室温26℃壁面温度10℃と同じ性能が、室温19℃、壁面温度18℃で達成される。木質系パネルのふく射率は黒体に近く、室温附近で柔い暖かさを与える長波長の赤外線熱放射が大きい。

HILL は古く快適条件として、温度と気流のある範囲内の変動と、比較的乾燥した状態とをあげている。特にむし暑い夏の日本においては、湿度は、温度と同じくらい重要な意味をもつ。室内湿度の調節は、温度の場合と異なり、内装材料の種類と量を選定することによりかなりの程度材料自身が自動制御を行うことが

表 4⁹⁾

材 料	タ イ プ	
パーティクルボード インシュレーションボード(0.0015) シーリングボード	I	優れる ↑ 調 湿 能 ↓ 劣る
硅酸カルシウム板(0.0005) 合 板 (0.0020) つき板合板(表面無処理) 石膏ボード(素地)	II-1	
つき板合板(表面塗装) プリント合板 メラミン合板 (0.0139)	II-2	
石膏ボード(表面処理) PMMA 板 コンクリート ロックウール	III	
ビニールシート (0.0268) ガ ラ ス ポリエチレンシート	IV	

() の数値はBの絶対値、0のときは調湿が完全に行われ、0.0269のときは全く調湿されない。

出来る点に特異性がある。表4にみるように木質系の合板やパーティクルボードなどは調湿性にすぐれ、ビニールシートは調湿性がほとんどみられない⁹⁾。合板とビニールシートを組合せて内装した小型プレハブ住宅内の温湿度変化を経時的に記録した例が図6に示されている。 δ_1 は合板内装面積率であって室内全壁面を合板で内装した場合には $\delta_1=1$ となる。図から明かなように δ_1 が小さくなると室内湿度日較差が大きくなる。しかし、この較差と δ_1 の関係は調湿性能の劣った材料ではほぼ直線となるが性能のすぐれた材では直線とはならず δ_1 の減少につれて壁面の単位面積あたりに吸放出される水分量が異常に大きくなる。調湿設計にはこの関係をあらかじめ定量化しておく必要がある。この外に、生理面では木材から空中に放出さ

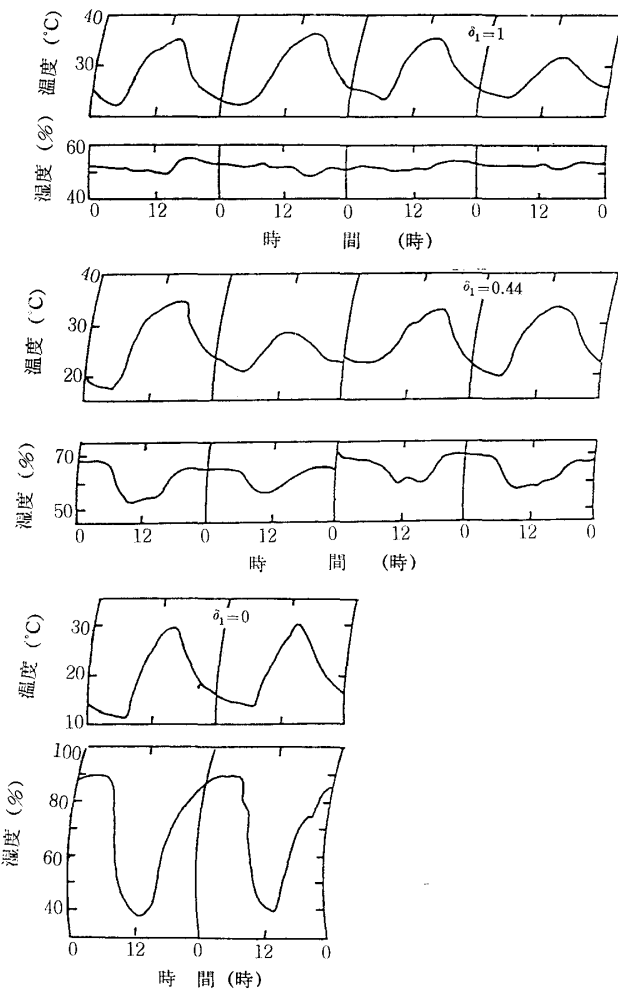


図 6¹⁰⁾

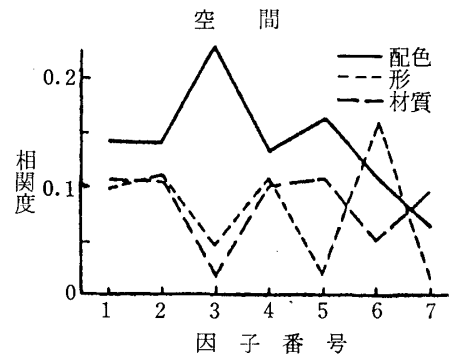
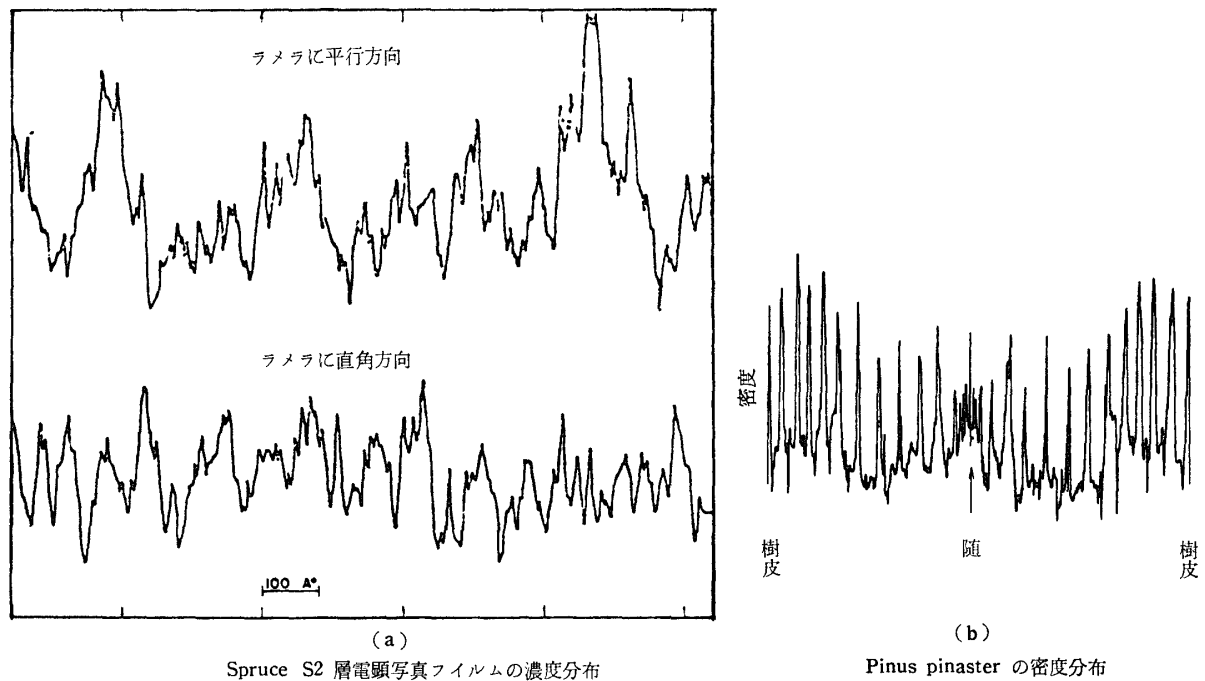


図 7¹¹⁾

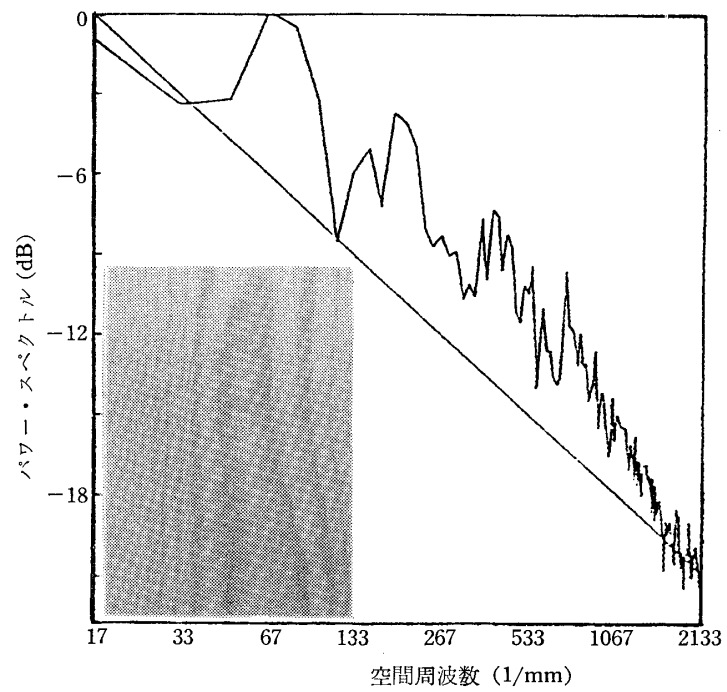
れる微量の活性素の重要性も指摘される。

心理学的な製品の評価方法のひとつにセマンティックディファレンシャル (SD) 法がある。これは、ことばの各個人に与える心理的な意味を分析し、研究する手段であって、例えば、応接室のカラープリント50例から、その空間、家具について、材質、形、配色と諸因子との関連をみると、図7のような結果が報告されていて¹¹⁾、いずれも配色の相関度が最も高いことがうかがえるが、材質も大きな相関をもつ。木材の色は主に抽出成分によるもので、これを三属性により表示すると、たとえば、シタンは 0.6 YR 2.9/2.2、ホワイトシリスでは 2.3 Y 7.3/4.5 となる。日本産主要木材 50 樹種の材鑑 (日本木材加工技術協会) については 6.4 YR ~ 1.6 Y 4.2 ~ 7.6/2.9 ~ 6.6 と報告されていて¹²⁾、暖色が主体となる。材料の心理的イメージとの関連をみると、明度は、明るさ、純粹さ、軽さなどのイメージ因子と相関が大きく、また彩度は、感じのよさ、豪華さ、上品さなどの因子との相関が満久・増田により指摘されている¹³⁾。視覚とともに、材質の感覚的評価については、触感が主体となる。岡島¹⁴⁾は80種の形容語句を整理して、表面触の温冷感、粗滑感、硬軟感、乾湿感とそれに、軽重感、好悪感、及びその他の合計7種の範疇に分けた。そして諸種の材料の好悪感に各表面触の感覚がどのように寄与するかを定量的に数式化し、熱移動や弾性変形に関連した物理量との対応をみている。又、吉田¹⁵⁾は、19種類の木材のみについて、触感の多変量解析を行って、座標軸は基本的には2次元となり、第Ⅰ軸は、「冷たい」「かたい」対「なめらか」第Ⅱ軸は「粗い」「もろい」対「安全な」の内

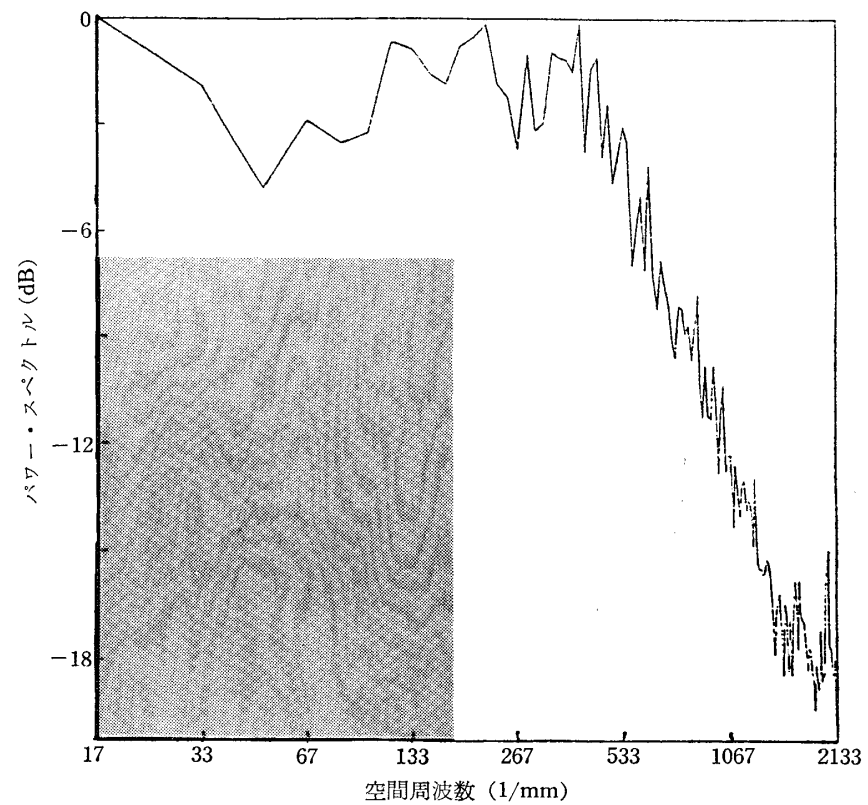
図 8¹⁶⁾¹⁷⁾

容をもつことを明らかにしている。

木材は構造上、微視的にも、巨視的にも変動が大きい点に特徴がある。微視的には、例えば、細胞壁 S2 層の横断面の電子顕微鏡写真の濃淡分布は、図 8(a) のようになり¹⁶⁾、また、巨視的に柁目方向の比重の分布をみると、同図(b) のようになる¹⁷⁾。木目模様濃淡分布について空間スペクトルをもとめると、図 9 のようになる。これは、ラインスキャンカメラを用いて同図の木材断面を左から右へ操作を繰り返したときに記録された濃淡のゆらぎを解析してもとめられたものであって、横軸は空間周波数（幅 1 m に存在する波長の数）を示し、縦軸はそれぞれの空間周波数成分の含有量を示すものである。板目面についてもとめられた図をみると、全体としてはほぼパワースペクトルは空間周波数の逆数に比例する $1/f$ 型となっているが、丸剥ぎにすると、これからずれる。一方、柁目面については、樹心からはなれた部位では、図(c) のように低周波数域で $1/f$ 型のスペクトルを示すが、樹心に近づくとともに図(d) のようにこれが白色分布の傾向を示す。なお、木口面における顕微鏡写真について同様にパワースペクトルの例をもとめると、樹種により異なる図 10 のようなパターンをうる。木材はこのような空間的秩序を形成しているのである。このような $1/f$ 型スペクトルは、時間の秩序に関する音楽のリズムの音響パワー変動スペクトルや、周波数変動のスペクトルにみられるものである。木製の楽器、例えば桐で作られている琴は視覚と聴覚の両美意識に訴える典型であろうか。心拍周期のゆらぎを示すパワースペクトルや、人間が気分のよい時の脳内の α 波の周波数ゆらぎのスペクトルにも $1/f$ 型スペクトルは広くみられるものであって、生体の生理的リズムと考えられている¹⁹⁾。さらに木材の表面は紫外線吸収が比較的多く、また適度に光を散乱させて、グレアーを緩和して目の疲労を減少する。ほかにも次々と発見されるであろうが、これらの効果が相ともなっかなでる空間的なリズムが、人間に不可欠な生理的、心理的ゆらぎと呼応して心のやすらぎと昂まりを人に与えるのではなかろうか。セルロースなどの原料から作られる製品としての木材は、固有応力などにもとづく個性をもっているが、諸種の機能を果しつつ、このように人と生理的、心理的に調和して存在し、日本文化のひとつの基盤を形造るものと考えられる。木質資源科学の根幹となるべき木材形成機構の解明と、このような物理的、生理的、心理的特色を配慮した木性材料製造技術の完成が待たれる。



(a)
Redwood のパワースペクトル (板目)



(b)
Douglas Fir のパワースペクトル (丸剥き)

図 9

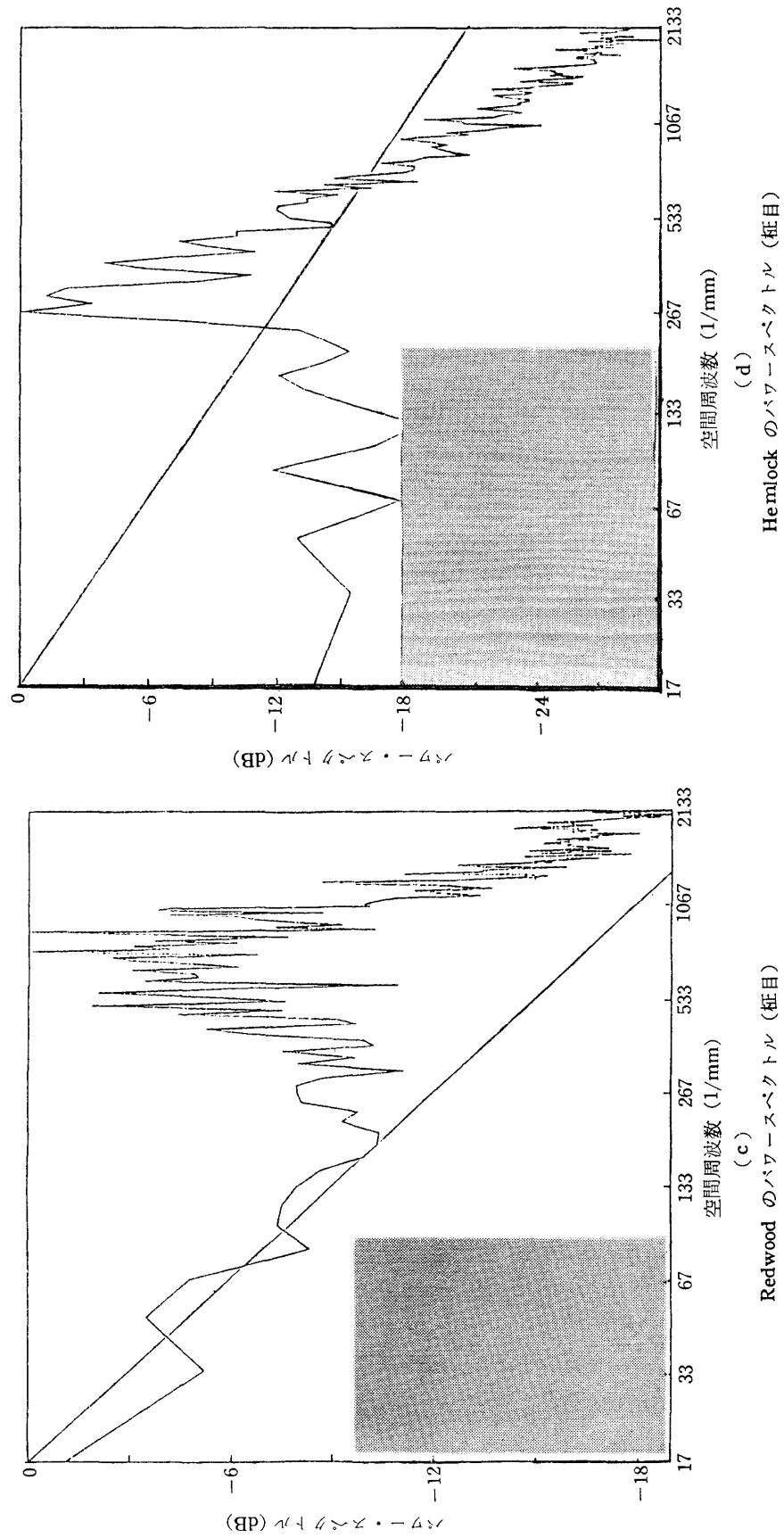
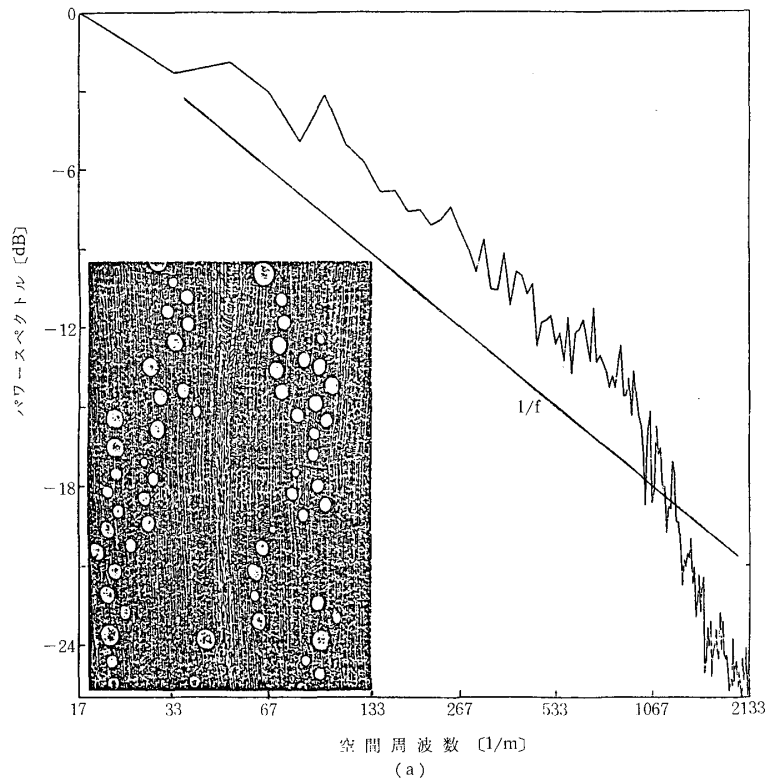
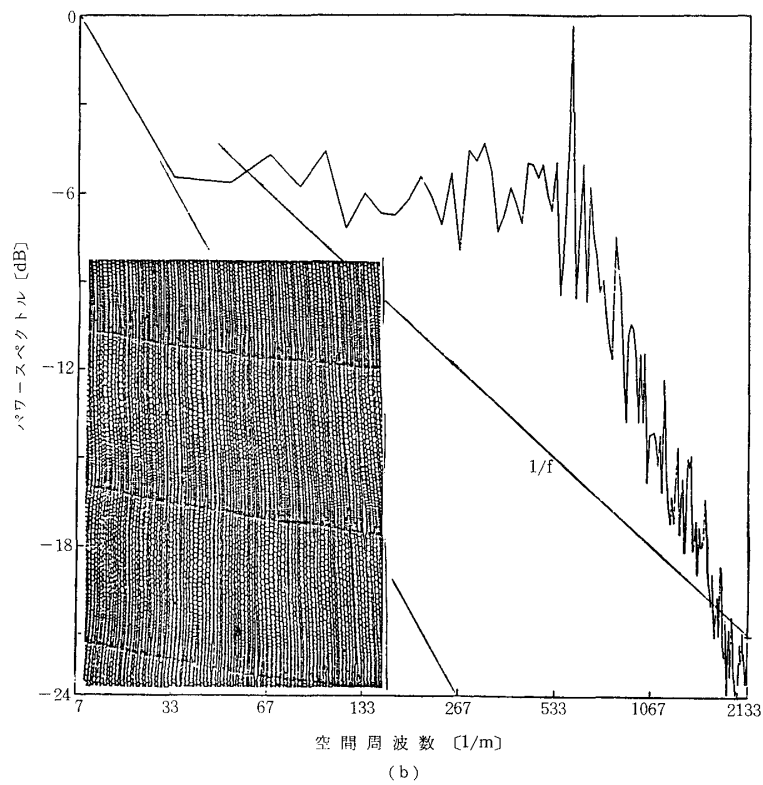


図 9



シラカシのパワースペクトル (木口面)



スギのパワースペクトル (木口面)

図 10

VI

近代化，工業化を果してきたわが国においては，社会は物質的，経済的に豊かとなり，人々は，基本的な欲求の充足から，より高次の精神的，文化的豊かさを求める傾向が強くなり，生活の質の向上，人と自然の調和への関心が著しく高まってきている。物質的な木質資源の科学技術が人文的な科学と総合されて，そのような科学の眼を通して人間のありようを考えてゆく必要が生じるであろう。

一方，わが国においては，近年，都市の過密化と地方の過疎化とが著しい。これは，現在の過度にかたよった中央集権化によるもので，わが国の歴史を振り返ってみると，このような時代は外国文化を吸収する時期に限られていて比較的短い。情報化の進んだ今日，独自性，多様性の尊重される個性豊かな地域社会が活力を新たにしていって調和してこそ，わが国に歪の少ない真の発展が期待される。それには，地場産業など，伝統と独創的手法による地域産業の発展が重要な支えとなる。この意味で特に分散型資源である木質資源の重要性を再考すべきであり，ここに，情報科学を含めた総合的な木質資源科学に支えられた林業，林産業の発展を期待する次第である。

本稿（Ⅴ）については，東福寺五十部主事，西部義雄氏京都府技師川島一雄氏及び当所青木努氏の御厚意と労に多謝いたします。なお（Ⅱ），（Ⅴ）では他に引用すべき文献が多い。木性材料とともに詳述する機会を俟ちたい。

文 献

- 1) R. E. MARK : "Cell Wall Mechanics of Tracheids", Yale Univ. Press. (1967)
- 2) A. P. SCHNIEWIND (Ed. by B. A. JAYNE) : "Theory and Design of Wood and Fiber Composite Materials", Syracuse Univ. Press. (1972)
- 3) 大釜敏正外：材料，30 (1981)
- 4) 建材産業の長期ビジョン，大蔵省印刷局 (1978)
- 5) 近藤 豊：古建築の細部意匠，大河出版 (1980)
- 6) 西岡常一，小原二郎：法隆寺を支えた木，日本放送協会 (1978)
- 7) 日本人の技術，研究社 (1977)
- 8) 住宅の居住性と木質材料の機能に関する研究 (1981)
- 9) 木質内装材の室内湿度調節機能に関する研究 (1980)
- 10) 牧福美外：木材誌，26, 768 (1980)
- 11) 建築研究所報告，No. 87, 186 (1979)
- 12) 相川光夫，智田俊雄：製科研報，No. 93 (1981)
- 13) 木材の特性，木質材料部門委員会 (1979)
- 14) 岡島達雄：建築材料学入門，井上書院 (1974)
- 15) 吉田正昭，山下勝之助：中大理工紀要，23, 327 (1980)
- 16) A. J. KERR, D. A. I. GORING, Cell Chem. Tech. 9, 563 (1975)
- 17) 太田貞明：木材誌，25, 564 (1979)
- 18) 山田 正：建築雑誌，95, No. 1171 (1980)
- 19) 武者利光：ゆらぎの世界，講談社 (1980)

参 考 文 献

- | | |
|--|---|
| 森 三郎：日林誌，16 (1974) | (1938) |
| No.136, 1090 (1935) | O. GRAF: Holz als Roh- und Werkstoff, 1, 266 |
| J.O. DRAFFIN and C.W. MUHLENBURCH: The | (1938) |
| mechanical properties of balsa wood. Proc. Am. | K. RIECHERS: Versuche an Kunststoffen für den |
| Soc. Test Materials, 37, 582 (1937) | Flugzeugbau, Z. VDI, 28, 665 (1938) |
| N. PALLAY: Holz als Roh- und Werkstoff, 1, 126 | No.174, 23 (1939) |

- 南 義夫：航研彙報，No. 174, 23 (1939)
 竹山謙三郎：日本建築学会論文集，No. 33, 16 (1944)
 鈴木 寧：木材工業，2, No. 8 (1947)
 L.W. WOOD: Eng. News-Record, 804 (1947)
 南 義夫：木材工業，4, 156 (1949)
 南 義夫：木材工業，4, 222 (1949)
 鈴木 寧：林学会誌，31, 188 (1949)
 久田俊彦：日本建築学会研報，9, 81 (1949)
 竹山謙三郎，久田俊彦，竹之内清次：建築学会論文集，No. 39, 18 (1949)
 J.B. ALEXANDER: Proc. Forest Prod. Res. Soc., 3, 344 (1949)
 A.G.H. DIETZ: Proc. For. Prod. Res. Soc., (1949)
 R.S.T. KINGSTON: C.S.I.R.O., Prog. Rep. No.1, (1949)
 深田栄一：小林理研報告，1, 21 (1951)
 L.W. WOOD: U.S. FPL. Rep., No.1916, (1951)
 R.S.T. KINGSTON and L.D. ARMSTRONG: Aust. J. Appl. Sci., 2, 306 (1951)
 鈴木 寧：日林講，61, (1952)
 大草克巳：島根農専研報，2, 15 (1952)
 F. KOLLMANN: Holz als Roh- und Werkstoff, 10, 187 (1952)
 B. NOREN: Svenska T.T.A., 29B (1952)
 南 義夫：木材工業，8, 67 (1953)
 Y. MINAMI: Bulletin of eng. Yokohama National Univ., 2, 23 (1953)
 J.B. ALEXANDER: J. Forest Prod. Res. Soc., 3, No.2, 62 (1953)
 L.D. ARMSTRONG: C.S.I.R.O., Div. For Prod. Proj. T.P. 16-1, Prog. Rep. No.2 (1953)
 L.D. ARMSTRONG: C.S.I.R.O., Prog. Rep. No.2, (1953)
 P.N. KHUKHRYANSKII: Trudy Inst. Lesa, Akad. Nauk. S.S.S.R., 9, 337 (1953), C.S.I.R.O., Trans. No.4802.
 杉山英男，田村孝之，加賀屋靖，河田道彦：日建研報，No. 26, (1954)
 杉山英男，田村孝之，加賀屋靖，河田道彦：日建研報，No. 26, (1954)
 杉山英男，他4名：日建研究，No. 32, (1955)
 杉山英男，他4名：日建研報，No. 32, 57 (1955)
 P.U.A. GROSSMAN and R.S.T. KINGSTON: C.S.I.R.O., Div. For. Prod., Prog. Rep. No.1 (1955)
 大草克巳，林 昭三：木材誌，2, 5 (1956)
 北原覚一，岡部 登：木材誌，5, 12 (1956)
 竹村富男，福山万次郎：島根農大報，7・8A, 196 (1956~1960)
 杉山英男：日本建築学会論文集，No. 52, 85 (1956)
 H. SUGIYAMA: 日本建築学会論文集，No. 55, 60 (1956)
 H. KUBLER: Holz als Roh- und Werkstoff, 14, 442 (1956)
 Yu. M. IVANOV: Doklady Akademii nauk, SSSR, 111, 777 (1956) C.S.I.R.O., trans No.3593.
 沢田 稔：林誌報告，98, (1957)
 杉山英男：建築学会論文報告集，No.57, 461 (1957)
 R.L. YOUNGS: F.P.L. Rep., No.2079 (1957)
 Yu. M. IVANOV: F.P.J., 7, 41-A (1957)
 A. YLINEN: Holz als Roh- und Werkstoff 15, 213 (1957)
 E.G., Jr. KING: Forest Prod. J., 7, 324 (1957)
 大沼加茂也，斉藤寿義：木材工業，13, 463 (1958)
 古谷 剛：木材工業，13, 526 (1958)
 杉山英男：日建論報，No. 58, 21 (1958)
 R.M. KELLOG: F.P.J., 8, 301 (1958)
 E.G. KING: F.P.J., 8, 330 (1958)
 T. PERKITNY, J. STEFANIAK und Z. RUDNICKI: Holz als Roh- und Werkstoff, 16, 410 (1958)
 大沼加茂也，斉藤寿義：林試報，No.116, 75 (1959)
 W.S. CLOUSER: U.S., F.P.L. Rep., No.2150, (1959)
 R.M. KELLOGG: F.P.J., 10, 586 (1960)
 L.W. WOOD: U.S. Forest Prod. Lab. Report No. 1916 (1960)
 R. SIEMINSKI: Holz als Roh- und Werkstoff, 18, 369 (1960)
 K. MOHLER: Holz-Forschung und Holz-Verwertung, 12, 41 (1960)
 L.D. ARMSTRONG and R.S.T. KINGSTON: Nature, 185, 862 (1960)
 竹村富男，福山万次郎，春名伸哉：島根農大報，No. 9, A-2, 103 (1961)
 山田 正，竹村透己男，梶田 茂：木材誌，7, 62 (1961)
 竹村透己男，山田 正，梶田 茂：木材誌，7, 68 (1961)
 竹村透己男，福山万次郎：木材誌，7, 72 (1961)
 角谷和男，杉原彦一：木材誌，7, 167 (1961)
 E.G. KING: F.P.J., 11, 156 (1961)
 W. GILLWALD: Holz als Roh- und Werkstoff, 19, 8 (1961)
 F. NEDBAL: Die Anwendung des Hoppler-Kon-sistometers zur Verformungsmessung an Kiefern-splintholz, *ibid.*, 19, 9 (1961)
 F. KOLLMANN: *ibid.*, 19, 73 (1961)
 H. KUHNE: *ibid.*, 19, 81 (1961)
 L.D. ARMSTRONG and G.N. CHRISTENSEN: Nature, 191, 869 (1961)
 M. LAWNICZAK and J. RECZKOWSKI: Nature, 192, 583 (1961)
 R.S.T. KINGSTON and L.N. CLARK: Aust. J. Appl. Sci., 12, 211 (1961)
 M. ZENKTELER: Sylwan, 105, 49 (1961) C.S.I.R.O.

- Trans. No.5858 (1961)
 山田 正, 佐道 健, 白石信夫: 材料, **11**, 50 (1962)
 福山万次郎: 京都府立大学学術報告, No. 14, 85 (1962)
 角谷和男, 杉原彦一: 材料試験, **11**, 44 (1962)
 R.E. PENTONEY and R.W. DAVIDSON: F.P.J., **12**, 243 (1962)
 D.G. MILLER: F.P.J., **12**, 358 (1962)
 R.W. DAVIDSON: F.P.J., **12**, 377 (1962)
 F. KOLLMANN und E. SCHMIDT: Holz als Roh- und Werkstoff, **20**, 333 (1962)
 F. KOLLMANN: Holzzentralblatt, No.85, 1 (1962)
 T. PERKITNY: Holzindustrie, **15**, 312 (1962)
 F. KOLLMANN: Materialprüfung, **4**, 313 (1962)
 H. KUHNE: *ibid*, **4**, 320 (1962)
 R.S.T. KINGSTON: Research, **15**, 164 (1962)
 L.D. ARMSTRONG and R.S.T. KINGSTON: Aust. J. Appl. Sci., **13**, 257 (1962)
 山田 正: 京大演習林報告, **34**, 158 (1963)
 K. SUMIYA: No.29, 1 (1963)
 R.L. YOUNGS and H.C. HILBRAND: F.P.J., **13**, 227 (1963)
 A. YLINEN: Holz als Roh- und Werkstoff, **21**, 173 (1963)
 F.F.P. KOLLMANN: Holzforschung, **17**, 65 (1963)
 P.U.A. GROSSMAN: *ibid*, **17**, 146 (1963)
 P.U.A. GROSSMAN and R.S.T. KINGSTON: Aust. J. Appl. Sci., **14**, 305 (1963)
 R.L. YOUNGS and H.C. HILBRAND: F.P.J., **13**, 227 (1963)
 大熊幹章: 木材誌,
 北原覚一, 湯川公夫: 木材学会誌, **10**, 17 (1964)
 大迫靖雄, 山田 正: 木材研究, No. 33, 29 (1964)
 中川 宏: 北林指研報, No. 351 (1964)
 R.F.S. HEARMON and J.M. PATON: F.P.J., **14**, 357 (1964)
 C.A. JENTZEN: F.P.J., **14**, 387 (1964)
 A.C. SEKHAIR, N.K. SHUKLA und V.K. GUPTA: Holz als Roh- und Werkstoff, **22**, 264 (1964)
 N.S. BHATNAGAR: Holz, R.W., **22**, 296 (1964)
 D. NARAYANAMURTI und G.M. VERMA: Holzforschung und Holzverwertung, **16**, 1 (1964)
 藤田晋輔, 中戸莞二: 木材誌, **11**, 36 (1965)
 鈴木正治, 中戸莞二, 相川久太郎: 木材誌, **11**, 76 (1965)
 藤田晋輔, 中戸莞二: 木材誌, **11**, 236 (1965)
 山田 正: 木材研究, No. 34, 1 (1965)
 大迫靖雄, 山田 正: 木材研究, No.34,229(1965)
 則元 京, 宮野寛文, 山田 正: 木材研究, No. 34, (1965)
 藤田晋輔, 高橋 徹: 島根農大報, No.14,87(1965)
 F. KOLLMANN: Holz als Roh- und Werkstoff, **23**, 165 (1965)
 T. PERKITNY: Uber Wechselbeziehungen zwischen Sorption, Desorption und Rheologie von Holz, Holz als Roh- und Werkstoff, **23**, 173 (1965)
 L. ERIKSSON und B. NOREN: *ibid*, **23**, 201 (1965)
 E.J. GIBSON: Nature, **206**, 213 (1965)
 R.L. ETHINGTON und R.L. YOUNGS: Holz als Roh- und Werkstoff, **23**, 196 (1965)
 S. FUJITA: 木材誌, **12**, 266 (1966)
 高橋 徹: 木材工業, **21**, 349 (1966)
 高橋 徹, 山田 正: 木材研究, No. 37, 46 (1966)
 山田 正, 角谷和男, 金谷紀行: 木材研究, No. 38, 21 (1966)
 高橋 徹, 山田 正: 木材誌, **12**, 6 (1966)
 太田 基, 坪田禎之: 木材誌, **12**, 26 (1966)
 大迫靖雄, 山田 正: 木材研究, No. 38, 58 (1966)
 T. TAKEMURA: Memoirs of the College of Agriculture, Kyoto Univ., No.88, 31 (1966)
 A.P. SCHNIEWIND: Holz als Roh- und Werkstoff, **24**, 87 (1966)
 W.G. KAUMAN: Holz als Roh- und Werkstoff, **24**, 552 (1966)
 W. GILLWALD und H. LUTHARDT: Holztechnologie, **7**, 25 (1966)
 T. PERKITNY und J. PERKITNY: Holztechnologie, **7**, 265 (1966)
 有馬孝禮: 木材誌, **13**, 37 (1967)
 T. SADOH and H. URAKAMI: **13**, 323 (1967)
 T. SADOH and H. URAKAMI: **13**, 327 (1967)
 藤田晋輔, 高橋 徹: 島根大農研報, No. 1, 100 (1967)
 角谷和男, 野村隆哉, 山田 正: 材料, **16**, 830 (1967)
 浦上弘幸: 京都府立大学農学部演習林報告, No. 11, 5 (1967)
 R.L. HILL: Tappi, **50**, 432 (1967)
 A.P. SCHNIEWIND: Wood Science and Technology, **1**, 278 (1967)
 H. SUGIYAMA: Wood Science and Technology, **1**, 289 (1967)
 M. LAWNICZAK: Holz als Roh- und Werkstoff, **25**, 5 (1967)
 M. LAWNICZAK und A. KOPEG-STANISZEWSKA: Holz als Roh- und Werkstoff, **25**, 88 (1967)
 M. LAWNICZAK: Holz als Roh- und Werkstoff, **25**, 304 (1967)
 A.J. KALNIN's, T.A. DARZIN's, A.D. JUKNA und G.V. BERZIN's Riga: Holztechnologie, **23** (1967)
 V. GOLDSMITH and P.U.A. GROSSMAN: J. Inst. Wood Sci., No.18, 44 (1967)
 T.B. LIBBY and J.G. HAYGREEN: J. Inst. Wood

- Sci., No.18, 54 (1967)
- D.G. MILLER and J. BENICAK: J., **17**, No.12, 36 (1967)
- R. GARDNER, E.J. GIBSON and R.A. LAIDLAW: J., **17**, No.4, 50 (1967)
- L. BACH: Forest-Prod. Lab., Vancouver, British Columbia, Information Report VP-X-24 (1967)
- 大迫靖雄, 高橋 徹, 山田 正: 木材誌, **14**, 24 (1968)
- 伏谷賢美: 木材誌, **14**, 166 (1968)
- 伏谷賢美: 木材誌, **14**, 208 (1968)
- 鈴木正治: 木材誌, **14**, 268 (1968)
- T. TAKEMURA: 木材誌, **14**, 407 (1968)
- 藤田晋輔, 高橋 徹, 桜井敏夫: 島根大農研報, No. 2, 86 (1968)
- L. BACH and R.E. PENTONEY: J., **18**, No.3, 60 (1968)
- W.T. SIMPSON and C. SKAAR: U.S. Forest Service Res. Note FPL-0197 (1968)
- A.P. SCHNIEWIND: Wood Science and Technology, **2**, 188 (1968)
- K. MOHLER und J. EHLBECK: Holz als Roh- und Werkstoff, **26**, 118 (1968)
- T. PERKITNY und W. KOKOCINSKI: Holz als Roh- und Werkstoff, **26**, 469 (1968)
- H. NEUSSER, U. KRAMES und K. HAIDINGER: Holzforschung und Holzverwertung, **20**, 141 (1968)
- 藤田晋輔: 木材誌, **15**, 51 (1969)
- 北原覚一, 彭 武財: 木材誌, **15**, 154 (1969)
- 有馬孝禮: 木材誌, **15**, 160 (1969)
- 藤田晋輔, 高橋 徹: 木材誌, **15**, 271 (1969)
- 有馬孝禮: 木材工業, **24**, 323 (1969)
- 飯田生穂, 福山万治郎, 浦上弘幸: 京府大演習林報, No. 13, 19 (1969)
- 杉山英男: 建築学会論文報告集, No. 155, 9 (1969)
- 高橋 徹, 藤田晋輔, 桜井敏夫: 島根大農研報, No. 3, 46 (1969)
- R.W. ERICKSON and D.J. SAUER: J., **19**, No.12, 45 (1969)
- I. CURTU, N. PARASCHIV und H. FLEISCHER: Holz als Roh- und Werkstoff, **27**, 49 (1969)
- J. RACZKOWSKI: Holz als Roh- und Werkstoff, **27**, 233 (1969)
- E. BETHE: Holz als Roh- und Werkstoff, **27**, 291 (1969)
- D. NOACK und V. STOCKMANN: Holz als Roh- und Werkstoff, **27**, 464 (1969)
- D. NARAYANAMURTI und B.S. ASWATHNARAYANA: Holztechnologie, **11**, 116 (1970)
- D. NARAYANAMURTI, V.J. VICTOR und S.F. XAVIER: Holztechnologie, **11**, 161 (1970)
- D. NARAYANAMURTI: Proceedings of the Fifth International Congress on Rheology, **2**, 625 (1970)
- 奥山 剛, 浅野猪久夫: 木材誌, **16**, 15 (1970)
- 竹村富男: 木材誌, **16**, 108 (1970)
- 竹村富男: 木材誌, **16**, 115 (1970)
- 沢辺 攻: 岩手大農報, **10**, 35 (1970)
- P. CHOW: J., **20**, No.12, 44 (1970)
- K. MÖHLER und G. MAIER: Holz als Roh- und Werkstoff, **28**, 14 (1970)
- 山田 正: 木材誌, **17**, 37 (1971)
- O. SAWABE: 木材誌, **17**, 51 (1971)
- 山田 正: 木材研究資料, No. 5, 9 (1971)
- 飯田生穂, 福山萬治郎: 京府大演習林報, No. 16, 60 (1971)
- G.A. ZIEGLER, W.K. MURPHEY and F.C. BEALL: J., No.10, 32 (1971)
- T.J. LEMOINE and P. KOCH: F.P.J., **21**, No.4, 34 (1971)
- D. GREEN and C. KOCH: F.P.J., **21**, No.11, 50 (1971)
- J.F. SENET and S.K. SUDDARTH: Wood and Fiber, **2**, 321 (1971)
- C.T. KEITH: Wood Science, **4**, 71 (1971)
- R.H. LEICESTER: Wood Science and Technology, **5**, 211 (1971)
- R.H. LEICESTER: Wood Science and Technology, **5**, 221 (1971)
- P.U.A. GROSSMAN: Wood Science and Technology **5**, 232 (1971)
- G. LIPOVSKY and J. RACZKOWSKI: Holzforschung und Holzverwertung, **23**, 27 (1971)
- M. LAWNICZAK: Holzforschung und Holzverwertung, **23**, 107 (1971)
- M. KALINA: Holztechnologie, **12**, 239 (1971)
- 奥山 剛: 木材誌, **18**, 291 (1972)
- 有馬孝禮: 木材誌, **18**, 349 (1972)
- 有馬孝禮: 木材誌, **18**, 377 (1972)
- R. ERICKSON, M.M. CHEN and T. LEHTINEN: F.P.J., **22**, No.10, 56 (1972)
- L.D. ARMSTRONG: Wood Science, **5**, 81 (1972)
- A.P. SCHNIEWIND and J.D. BARRETT: Wood Science and Technology, **6**, 43 (1972)
- R.S.T. KINGSTON and B. BUDGEN: Wood Science and Technology, **6**, 230 (1972)
- E.L. SCHAFFER: Wood and Fiber, **3**, 232 (1972)
- M. LOTFY, M. EL-OSTA and R.W. WELLWOOD: Wood and Fiber, **4**, 26 (1972)
- M. LOTFY, M. EL-OSTA and R.W. WELLWOOD: Wood and Fiber, **4**, 204 (1972)
- Yu, M. IVANOV: Les. Zhur. **15**, 76, (1972)
- P. GRESSEL: Holz als Roh- und Werkstoff, **30**, 347 (1972)

- P. GRESSEL: Holz als Roh- und Werkstoff, **30**, 479 (1972)
- R.G. PEARSON: Holzforschung **26**, 153 (1972)
- T. PERKITNY und S. STELLER: Holztechnologie, **13**, 43 (1972)
- F. KOLLMANN: Holztechnologie, **13**, 88 (1972)
- G.V. BERZIN's M.S. MOVNIN, A.E. ZIEMELLS, und J.J. LIPIN's: Holztechnologie, **13**, 209 (1972)
- A.P. SCHNIEWIND und J.C. CENTENO: Wood and Fiber, **5**, 152 (1973)
- 有馬孝禮: 木材誌, **19**, 75 (1973)
- 徳本守彦: 木材誌, **19**, 577 (1973)
- 久田卓興, 筒本卓造: 木材工業, **28**, 61 (1973)
- W.G. WARREN: F.P.J., **23**, No.12, 45 (1973)
- H.W. REINHARDT: Holz als Roh- und Werkstoff, **31**, 352 (1973)
- A.P. SCHNIEWIND und D.E. LYON: Wood and Fiber, **4**, 334 (1973)
- J.M. IVANOV: Holztechnologie, **14**, 240 (1973)
- S. CHOW: Trans. Soc. Rheol., **17**, 109 (1973)
- M. KALINA: Holztechnologie, **14**, 29 (1973)
- W. RYBARCZYK: Prace Instytutu Technologii Drewna **20**(2), 17 (1973)
- A. TAKAHASHI und A.P. SCHNIEWIND: 木材誌, **20**, 9 (1974)
- 奥山 剛: 木材誌, **20**, 210 (1974)
- 有馬孝禮: 木材誌, **20**, 355 (1974)
- 有馬孝禮: 木材誌, **20**, 362 (1974)
- O. SAWABE: 木材誌, **20**, 517 (1974)
- 飯田生穂, 福山萬治郎, 浦上弘幸: 京都府立大学農学部演習林報告, No. 19, 7 (1974)
- D.G. MILLER und P. GEORGE: Wood Science, **7**, 21 (1974)
- D.G. MILLER und P. GEORGE: Wood Science, **7**, 153 (1974)
- M.M. CHEN: Wood Science, **7**, 34 (1974)
- S.Y. WANG: Quarterly Journal of Chinese Forestry **7**(2), 61-86 (1974)
- L. BACH: Materials Science and Engineering, **15**(2/3), 211-220 (1974)
- C.T. KEITH: Wood Science, **7**(1), 1-12 (1974)
- B. MADSEN: F.P.J. **25**(10), 45 (1975)
- 伏谷賢美, 坊野喜彦: 木材工業, **30**, 211 (1975)
- Yu. M. IVANOV: Les. Zhur, **5**, 90 (1975)
- 森 光正, 伏谷賢美, 蕪木自輔: 木材誌, **21**, 51 (1975)
- 徳本守彦: 材料, **24**, 879 (1975)
- L. BACH: Wood Science, **7**, 323 (1975)
- A. RANTA-MAUNUS: Wood Science and Technology **9**, 189 (1975)
- J.-H. WANG und F.C. BEALL: Wood Science **8**, 131 (1975)
- K. SUMIYA und T. YAMADA: Wood Research, No.59/60, 1 (1976)
- K. ROCENS: Holztechnologie, **17**, 40 (1976)
- B.N. UGOLEV: Wood Science and Technology, **10**, 169 (1976)
- T. PERKITNY und Z. HOFFMANN: Holz als Roh- und Werkstoff, **34**, 167 (1976)
- P. EYERER und P. BOHRINGER: Holz als Roh- und Werkstoff, **34**, 251 (1976)
- J. RACZKOWSKI, W. WIECHOWICZ: Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu-81, 97 (1976)
- 大迫靖雄, 加藤英郎: 木材誌, **23**, 521 (1977)
- 青木 務, 山田 正: 木材誌, **23**, 10 (1977)
- 藤田修身, 坂田 正, 増井久男, 矢入 徹: 静岡県工業試験場報告, No. 21, 37 (1977)
- T. AOKI, M. NORIMOTO und T. YAMADA: Wood Research, No.62, 19 (1977)
- 飯田生穂: 京都府立大学農学部演習林報告, No. 21, 14 (1977)
- W.G. WARREN und B. MADSEN: F.P.J., **27**, No.3, 45 (1977)
- C.C. GERHARDS: USDA Forest Service Research Paper, FPL 283, (1977)
- L.H. RACZKOWSKA und J. RACZKOWSKI: Holztechnologie, **18**, 201 (1977)
- 森泉 周, 岡野 健: 木材誌, **24**, 1 (1978)
- 土井 登, 伏谷賢美, 蕪木自輔: 木材誌, **24**, 217 (1978)
- J. MUKUDAI, S. SAKAMOTO, H. KADITA und S. YATA: 木材誌, **24**, 447 (1978)
- J. MUKUDAI und S. SAKAMOTO: 木材誌, **24**, 605 (1978)
- L.H. RACZKOWSKA und J. RACZKOWSKI: Holzforschung und Holzverwertung, **30**, 50 (1978)
- T. ARIMA und P.U.A. GROSSMAN: J. Institute of Wood Science, **8**, 47 (1978)
- B. KÄLLSNER und B. NOREŃ: Med. Svensk Traf. A. No.518, 28 (1978)